SHL
WITHDRAWN

CONSEIL PERMANENT INTERNATIONAL
POUR L'EXPLORATION DE LA MER

PUBLICATIONS DE CIRCONSTANCE

N° 45

JOHAN GEHRKE

UEBER FARBE UND DURCHSICHTIGKEIT DES OSTSEEWASSERS

MIT EINER ALLGEMEINEN THEORIE DES ZUSAMMENHANGES ZWISCHEN FARBE UND DURCHSICHTIGKEIT IN NATÜRLICHEN GEWÄSSERN

EN COMMISSION CHEZ
ANDR. FRED. HØST & FILS
COPENHAGUE

FÉVRIER 1909

CONSEIL PERMANENT INTERNATIONAL
POUR L'EXPLORATION DE LA MER

PUBLICATIONS DE CIRCONSTANCE

N° 45

JOHAN GEHRKE

UEBER FARBE UND DURCHSICHTIGKEIT DES OSTSEEWASSERS

MIT EINER ALLGEMEINEN THEORIE DES ZUSAMMENHANGES ZWISCHEN FARBE UND DURCHSICHTIGKEIT IN NATÜRLICHEN GEWÄSSERN

EN COMMISSION CHEZ
ANDR. FRED. HØST & FILS
COPENHAGUE

FÉVRIER 1909

COPENHAGUE — IMPRIMERIE BIANCO LUNO

Im Laufe der Zeit ist allmählich eine nicht geringe Arbeit auf die Bestimmung der Farbe und Durchsichtigkeit des Seewassers verwendet worden. Eine ausgezeichnete Uebersicht über frühere Arbeiten, sowie eine ausführliche Darstellung der Theorie dieser Frage findet sich in Professor Otto Krümmels Handbuch der Ozeanographie, Stuttgart 1907, Bd. I, S. 250—279, worauf wir im Folgenden oft verweisen werden.

Auch durch die internationale Meeresforschung sind — von finnländischen und deutschen Gelehrten — zahlreiche derartige Bestimmungen ausgeführt worden, teils im Bottnischen und Finnischen Meerbusen, sowie im nördlichen Teil der Ostsee, teils in der südlichen Ostsee, in der Beltsee und Nordsee. Professor Krümmel hat neuerdings eine Uebersicht[1]) gegeben über die Durchsichtigkeit des Wassers an den deutschen Stationen und darauf eine Reihe interessanter Resultate aufgebaut, z. B. den Nachweis einer grösseren Durchsichtigkeit in der Nordsee als in der Ostsee.

Indessen liegt — wie erwähnt — auch ein bedeutendes finnländisches Material vor, und da eine Gesamtbearbeitung des ganzen Stoffes mir nicht ohne Interesse zu sein scheint, habe ich im Folgenden eine solche für das ganze Ostseegebiet zu unternehmen versucht. Die Beobachtungen sind veröffentlicht im „Bulletin Trimestriel des Résultats acquis . . . . . " und umfassen die Periode vom Anfang der Untersuchungen im August 1902 bis August 1907 inkl.

Ehe wir zur Diskussion der Messungsergebnisse übergehen, müssen wir jedoch darauf aufmerksam machen, dass die deutschen Sichttiefenmessungen, während die finnischen mit weissen Scheiben von 60 cm Durchmesser ausgeführt sind („Bulletin" Teil B Mai 1905 S. 104), mit Scheiben von 45 cm Durchmesser ausgeführt werden (vgl. Handbuch S. 255). Und da nun die gefundenen Sichttiefen um so grösser werden, je grösser die verwendeten Scheiben sind, müssen die finnischen Zahlen also verhältnismässig grösser als die deutschen ausfallen. — Um eine Schätzung dieses Unterschiedes zu erhalten,

[1]) Die Beteiligung Deutschlands an der internationalen Meeresforschung, IV-V Jahresbericht, Berlin 1908, S. 12—16.

wollen wir nach Handbuch S. 254 anführen, dass Kapitän z. S. Aschenborn in der westlichen Ostsee mit weissen Scheiben von 2 m Durchmesser Sichttiefen bis 16 m gefunden hat, während die grössten Sichttiefen, die im Laufe der internationalen Untersuchungen mit Scheiben von nur 45 cm Durchmesser in diesem Gebiete vorgefunden sind, doch $12^1/_2$ m betragen.

Rechnen wir somit, dass eine Vergrösserung der Scheibe von 45 cm Durchmesser bis zu einem Durchmesser von 200 cm eine Sichttiefe von $12^1/_2$ m um $3^1/_2$ m vergrössert, und setzen wir einfach die Zunahmen an Sichttiefe und an Scheibenareal untereinander proportional, so wird eine Vergrösserung der Scheibe von 45 cm Durchmesser bis zu einem Durchmesser von 60 cm die Sichttiefe nur um ca. 15 cm steigern, was ganz ausser Betracht gelassen werden kann.

Folglich dürfen wir von dem geringen Unterschied zwischen den deutschen und finnischen Scheibendurchmessern gänzlich absehen und die Messungsergebnisse unmittelbar untereinander vergleichen.

In der Beltsee und der eigentlichen Ostsee ist das Wasser so gut wie immer grün (die in optischer Beziehung so gut wie ganz unbekannten Küstengewässer hart am Lande vielleicht ausgenommen). Am 1. Februar 1905 war die Farbe des Wassers an den Stationen D Ostsee 4 und 5 milchig-grün, und im Mai 1907 bei D 13 gelbgrün; mit diesen drei Ausnahmen war das Wasser im deutschen Untersuchungsgebiet stets grün.

Das Gebiet, in dem die grüne Farbe als alleinherrschend bezeichnet werden kann, erstreckt sich bis an eine Linie von der Nordwestspitze Estlands nach dem südlichen Teil des Ålandshaf. Der grösste Teil des Finnischen Meerbusens hat graulich-grünes bis graugrünes — gelblich-grünes bis gelbgrünes Wasser, jedenfalls in der Zeit von Mai bis November; im Februar verhinderten die Eisverhältnisse die Beobachtungen. Im allerinnersten Teil des Meerbusens (ungefähr innerhalb einer krummen Linie von 26° E. Long. an der finnländischen Küste durch 60° N. 28° E. und von hier in südlicher Richtung) nimmt das Wasser braungelbe, graugelbe, graubraune, gelbe und braune Farben an; im Uebergangsgebiet kommen auch bräunlich-grüne Farbentöne vor. — Im Mai 1906 ist bei F 52 A (ca. 60° N. 25° E.) graugelbes Wasser gefunden, so dass Wasser ohne grünliche Färbung somit bisweilen auch in Küstengebieten ausserhalb der oben genannten Grenzlinie angetroffen werden kann.

Im Ålandshaf, Skärgårdshaf und Bottenhaf wechselt grün mit gelblich-grün bis gelbgrün und graulich-grün bis graugrün, so dass die rein grüne Farbe am seltensten vorkommt. Doch ist grün ganz bis an F 13, also ein wenig nördlich von Nordquarken nach-

gewiesen worden. Auf einzelnen finnländischen und schwedischen Küstenstrecken des Bottenhaf sind auch graue, gelbgraue und braungelbe Farben angetroffen worden. Im Bottenvik ist das Wasser gelblich-grün bis gelbgrün — graulich-grün bis graugrün bis an eine krumme Linie, ungefähr von F 10 bis mitten zwischen F 2 und F 3 und von dort abwärts bis F 6. Innerhalb dieser Linie ist das Wasser gelbbraun, graugelb, gelb und graubraun. — Natürlicherweise kann diese Grenze bedeutenden Schwankungen unterliegen; so ist bei F 12 gelblichgraues Wasser angetroffen worden, andererseits gelbgrünes Wasser bei F 2 und bräunlich-graugrünes bei F 1. Aber im ganzen muss die oben geschilderte Farbenverteilung als die typischen Verhältnisse darstellend betrachtet werden.

Im ganzen Bottnischen Meerbusen scheint die rein grüne Farbe nur fleckenweise aufzutreten und ist von der grünen Farbe in der Ostsee durch das graulich-grüne oder gelblich-grüne Wasser im Ålandshaf getrennt. So kam im Mai 1905 zwar ein kleiner Flecken grünen Wassers nördlich von Nordquarken bei F 13 vor; er war aber an allen Seiten von graugrünem und gelbgrünem Wasser umgeben. Der August 1905 scheint zwei isolierte Flecken grünen Wassers, und zwar in Nordquarken bei F 15 und im südlichen Teil des Bottenhaf bei F 33 aufzuweisen, beide von graulichgrünem-gelblichgrünem Wasser umgeben. Das grüne Wasser an letzterer Station steht in keiner Verbindung mit dem grünen Wasser der Ostsee, da die Beobachtung auf F 64 zeigt, dass die Farbe im Ålandshaf graulich-grün ist. Schliesslich ist zu erwähnen, dass im Mai 1906 ein grosser Teil des nördlichen Bottenhaf südlich von Nordquarken grünes Wasser zu enthalten schien, während der südliche Teil des Bottenhaf dagegen von graugrünem-gelbgrünem Wasser angefüllt war. —

Gehen wir jetzt über zu einer genaueren Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Farbe und Durchsichtigkeit des Wassers, wobei wir uns auf die in Krümmels Handbuch ausführlich dargestellte Diffraktionstheorie stützen. Diese besagt, wie bekannt, Folgendes:

Die Farbe des Meeres entsteht durch die Reflexion des Lichtes von den im Meere aufgeschlämmten Teilchen. Finden sich viele Teilchen, so dringen die Strahlen durchschnittlich nur eine kleine Strecke ins Wasser hinab, bevor sie wieder gegen die Oberfläche zurückgeworfen werden, und die Klarheit des Meeres wird eine geringe. Finden sich dagegen nur wenig aufgeschlämmte Teilchen, so dringen die Strahlen durchschnittlich tief hinab, bevor sie reflektiert werden, und die Klarheit des Meeres wird eine grosse. Nun absorbiert das Wasser aber die verschiedenen Farben des einfallenden Lichtes ungleich stark, indem das rote Ende des Spektrums weit stärker absorbiert wird, als das blaue Ende. Infolgedessen wird ein Strahl mehr und mehr

blau, je länger die Strecke ist, die er im Wasser durchläuft; und vergleichen wir nun dies mit dem oben von der Klarheit Gesagten, so erhalten wir das bekannte Gesetz, dass das Wasser um so klarer wird, je blauer es ist, und um so weniger klar, je mehr die Farbe sich von blau entfernt.

Der Zusammenhang zwischen Farbe und Durchsichtigkeit des Wassers ist indessen bei weitem nicht so einfach. Prof. KRÜMMEL macht in seinem Handbuch darauf aufmerksam, dass die blauen Strahlen einer diffusen Reflexion unterliegen, wenn das Meer äusserst feine aufgeschlämmte Teilchen enthält, die so klein sind, dass sie nur die blauen Strahlen zu reflektieren vermögen, aber nicht im Stande sind, die weniger brechbaren Farbenstrahlen aufzuhalten. In einem das Wasser durchdringenden Strahl werden somit nicht nur die roten Bestandteile durch die selektive Absorption des Wassers geschwächt, sondern auch die blauen Strahlen werden durch die von den feinen Teilchen hervorgerufenen successiven Reflexionen, Brechungen und Beugungen geschwächt. Die Farbe des Strahles wird sich dann nicht blau, sondern grün nähern.

Ferner können sich im Meere farbige Teilchen und eigentliche aufgelöste Farbstoffe finden. Die Teilchen brauchen ausserdem in den verschiedenen Schichten nicht gleichmässig verteilt zu sein (und sind es, wie wir später sehen werden, bei ruhiger See im allgemeinen auch nicht). Dies alles bewirkt, dass der Zusammenhang zwischen Farbe und Durchsichtigkeit ein sehr verwickelter ist, und wir wollen jetzt zur Aufstellung einiger allgemeingültiger Gesetze übergehen.

1. Man kann sich immer ein Meer vorstellen von ganz beliebiger Farbe und der Sichttiefe Null. Denn wir können immer annehmen, dass das Meer so voll von undurchsichtigen Teilchen dieser beliebigen Farbe (z. B. kleinen Lebewesen, Algen u. s. w.) ist, dass die Lichtstrahlen nur eine verschwindend kleine Strecke unter die Oberfläche hinabzudringen vermögen, bevor sie wieder zurückgeworfen werden. Die selektive Absorption des Wassers erhält dadurch nur verschwindend geringe Gelegenheit, die Farbe der Strahlen zu ändern; und ferner herrscht das Dunkel bereits in verschwindend geringer Entfernung von der Oberfläche, d. h. das Meer erhält die gewünschte Farbe und hat die Sichttiefe Null.

Hieraus kann man gleich schliessen, dass zwischen Farbe und Klarheit des Wassers keine eindeutige Verbindung besteht, indem man offenbar bei jeder Farbe unendlich viele Sichttiefen von Null aufwärts haben kann. Natürlicherweise kann aber auch die Sichttiefe nicht bis ins Unendliche wachsen, und jeder Farbe muss also ein von der Farbe abhängiges Maximum entsprechen, das die Sichttiefe unter angemessenen Umständen erreichen, aber nicht überschreiten kann. Wie gross diese Maximalsichttiefen sind, das lässt sich bei der gegenwärtigen mangel-

haften Kenntnis der im Meere aufgeschlämmten Teilchen und ihrer Verteilungsverhältnisse kaum quantitativ feststellen; aber Folgendes steht also fest:

> Es existiert keine eindeutige Verbindung zwischen Farbe und Klarheit des Meeres, indem bei jeder Farbe unendlich viele Sichttiefen vorkommen können, von Null aufwärts bis zu einer gewissen von der Farbe abhängigen Maximalsichttiefe.

2. Es ist eine bekannte Sache, dass die Sichttiefe an einem Orte zunimmt, allmählich wie sich das Meer beruhigt, und dass die grössten Sichttiefen bei ruhiger See vorkommen. So ist auch wohlbekannt, (wir kommen darauf noch später zurück), dass man gewöhnlich zunehmende Sichttiefen vorfindet, wenn man sich vom Land in die offene See hinausbewegt. In beiden Fällen findet eine allmähliche Abklärung des Wassers statt, indem die aufgeschlämmten Teilchen nach und nach mit einer von ihrer Grösse abhängigen Geschwindigkeit hinabsinken, und wir können daraus schliessen, dass die Sichttiefe um so grösser wird, je weniger aufgeschlämmte Teilchen das Wasser enthält.

Sind Farbstoffe im Wasser aufgelöst, so können sie nur dazu dienen, grössere oder kleinere Mengen des eindringenden Lichtes zu absorbieren, während wir bekanntlich von der Einwirkung aufgelöster farbloser Salze absehen können. — Also sehen wir, dass das Licht am tiefsten in reines Wasser hinabdringen muss, so dass man hier bei möglichst starkem Sonnenschein die absolut grösste Sichttiefe vorfindet.

Des Folgenden wegen wollen wir ferner darauf aufmerksam machen, dass die Erfahrung zeigt, dass die Farbe der ins Meer hinabgesenkten weissen Scheibe sich der Farbe des Meeres mehr und mehr nähert, je tiefer sie hinab gelangt, und dass sie eben in dem Augenblick die Farbe (und Klarheit) des Meeres annimmt, in welchem sie die Sichttiefe erreicht und dem Auge entschwindet.[1]) Die Grenzfarbe der Scheibe definiert somit die Wasserfarbe, und im Folgenden rechnen wir Farben gleicher qualitativer Zusammensetzung als äquivalent, ohne Rücksicht auf ihre Intensitäten.

Denken wir uns nun, dass wir an einer Station eine gewisse Farbe und die dieser Farbe eben entsprechende Maximalsichttiefe vorfinden; stellen wir uns sodann vor, dass in irgend einer Weise ein Strom ganz reinen Seewassers in diesen Teil des Meeres hineingeleitet wird, so dass die oberen Schichten in stets zunehmenden Tiefen allmählich von allen Fremdkörpern gereinigt werden. Die Sichttiefen werden dann der obigen Darstellung zufolge kontinuierlich zunehmen, und auch die Farbe des Wassers wird sich kontinuierlich ändern und muss sich schliesslich immer mehr der Farbe des reinen Wassers nähern.

[1]) Handbuch S 255.

Bei allen neuen Farben, zu denen wir nach und nach kommen, sind die vorliegenden Sichttiefen grösser als die Maximalsichttiefe der gegebenen Farbe, und die Maximalsichttiefen der neuen Farben müssen daher auch grösser sein als die der ursprünglichen Farbe. Wir sehen somit, dass es für jede Farbe mit einer gewissen Maximalsichttiefe unendlich viele andere Farben gibt, die sich der Farbe des reinen Wassers mehr nähern und grössere Maximalsichttiefen besitzen.

Wird die Scheibe tiefer und tiefer in reines Meerwasser versenkt, so wird dessen selektive Absorption bewirken, dass die Farbe der Scheibe mehr und mehr blau wird. Aus dem in Krümmels Handbuch S. 271 gegebenen Absorptionsspektrum (und den S. 272 gegebenen Absorptionskoeffizienten) geht indessen hervor, dass diese blaue Farbe stets eine Mischfarbe bleiben muss, wie tief die Scheibe auch hinabkommt, indem die Farbe ausser violetten, indigo und reinen blauen Strahlen auch blaugrüne Strahlen, sowie schwache Spuren noch weniger brechbarer Strahlen enthält. Vergleicht man nun die Spektra des reinen Wassers und des blauen Wassers des Mittelländischen Meeres (Handbuch Fig. 40, S. 271), so sieht man, dass in der Natur möglicherweise Seewasser von noch reinerer blauer Farbe vorkommen kann; jedenfalls ist die Existenz eines solchen Wassers denkbar. Aber auch für solche Gebiete gilt das oben als allgemeingültig Nachgewiesene: dass die Sichttiefe geringer ist als in reinem Wasser. Wir haben also folgenden Satz:

> Die grösste Maximalsichttiefe entspricht nicht der brechbarsten Meeresfarbe, sondern der indigoblauen Farbe, welche das reine Wasser kennzeichnet. Von dieser Farbe an nimmt die Maximalsichttiefe ab, sowohl wenn die Farbe violett, als wenn sie blaugrün wird oder sich von blau ganz entfernt. Für jede Farbe gibt es unendlich viele neue Farben, die sich kontinuierlich der Farbe des reinen Wassers nähern und grössere Maximalsichttiefen haben.

Deutlichkeitshalber wiederholen wir, dass wir unter der Farbe des reinen Wassers die Grenzfarbe verstehen, gegen welche die Farbe der Scheibe konvergiert, wenn sie tiefer und tiefer in reines Wasser hinabgesenkt wird, oder was, wie oben dargetan wurde, dasselbe ist: die Grenze, der sich die Farbe eines Meeres nähert, wenn das Meer in stets höherem Grade von allen fremden Substanzen befreit wird. Die Farbe, welche eine Scheibe allmählich annimmt, wenn sie weit in reines Wasser hinabgelangt, muss in jedem Augenblick auf das Auge des Beobachters denselben Eindruck machen, wie eine gewisse blaue Spektralfarbe mit einer gewissen Wellenlänge λ, die sich mit der Tiefe der

Scheibe ändert; und die Farbe des Meeres ist also Obigem zufolge aufzufassen als die Spektralfarbe mit der Wellenlänge λ_0, wogegen λ konvergiert, wenn die Scheibe sich der Sichttiefe nähert. — Wenn man mit G. Schott[1]) davon ausgeht, dass reines Wasser optisch leer ist, so dass es nicht von selbst das eindringende Licht reflektieren kann, so muss es allerdings einem Beobachter, der es von oben betrachtet, schwarz vorkommen. Dies bedeutet aber bloss, dass die Intensität des oben genannten von der Scheibe reflektierten Lichtes gegen Null konvergiert, und auf die Intensität der vorkommenden Meeresfarben kann in gegenwärtiger Untersuchung keine Rücksicht genommen werden. Denn es ist eine bekannte Sache[2]), dass nicht nur die Qualität der Farbe, sondern auch die Sichttiefe in allen natürlichen Meeren innerhalb sehr weiter Grenzen von der Intensität der Beleuchtung unabhängig ist, während selbstredend die Intensität der Farbe und die der Beleuchtung direkt voneinander abhängig sind.

Die Lage der oben genannten Grenzwellenlänge lässt sich gegenwärtig kaum ganz exakt angeben, aber doch mit einer gewissen Annäherung. Krümmel hat im Sargassomeere eine Sichttiefe von $66^1/_2$ m gemessen. Wir können somit ohne Zweifel davon ausgehen, dass die Scheibe noch in einer Tiefe von 75 m in reinem Wasser sichtbar sein wird. Dem entspricht, dass das Licht eine Säule von 150 m Wasser durchläuft, und lassen wir den durch die Zurückwerfung des Lichtes von der Scheibe verursachten Lichtverlust unberücksichtigt, so würde (den von Krümmel angegebenen Absorptionskoeffizienten zufolge) von Licht mit Wellenlängen unter 530 $\mu\mu$ rund $^1/_4$, von Licht mit der Wellenlänge 550 $\mu\mu$ knapp $^1/_{100}$ und von Licht mit grösseren Wellenlängen so gut wie gar nichts wieder an die Oberfläche gelangen. Das von der Scheibe kommende Licht kann also aufgefasst werden als zusammengesetzt aus einigermassen gleichen Teilen von Licht mit Wellenlängen bis etwas über 500 $\mu\mu$, d. h. die Wellenlänge muss ca. 450 $\mu\mu$ ausmachen und also im Anfang von Indigoblau liegen.

3. Reflektiertes Sonnenlicht muss zwar immer Mischlicht sein, kann aber angenähert als monochromatisch betrachtet werden, wenn es nur Strahlen aus einem begrenzten Teil des Spektrums enthält. Im Folgenden wollen wir daher unter einer Spektralfarbe λ eine Mischfarbe verstehen, die aus beliebigen gleichen Bruchteilen der Strahlenintensitäten in einem passend gewählten Intervall (z. B. von $\lambda \div 50\,\mu\mu$ bis zu $\lambda + 50\,\mu\mu$) des Sonnenspektrums zusammengesetzt ist. — Diese Definition wird in der Tat oft die Verhältnisse in der Natur wiedergeben. Sodann sieht man, dass sie mit den optischen Vorgängen in dem blauen reinen Wasser übereinstimmt; und sie wird auch für das

[1]) Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Tiefsee-Expedition auf dem Dampfer „Valdivia“ 1898—1899, Bd. I S. 231.

[2]) Handbuch S. 255—256.

grüne Ostseewasser recht nahe zutreffen. Aus Handbuch S. 271 sieht man nämlich, dass hier nicht nur das rote, sondern auch das blaue Ende des Spektrums verlöscht ist, so dass die grüne Farbe hauptsächlich aus Strahlen in der Mitte des Spektrums besteht. — Aehnliche Verhältnisse können auch in Süsswasserseen vorkommen.

Nimmt nun die Scheibe, indem sie ins Meer versenkt wird, eine Reihe von Farben an, die gegen eine gewisse Spektralfarbe konvergieren, so betrachten wir (wie oben bei reinem Wasser) Licht von dieser Zusammensetzung als die Farbe des Meeres, und da man sich nach *1* vorstellen darf, dass das Meer jede beliebige Farbe annehmen kann, so erhalten wir in der Weise das ganze Spektrum. Natürlicherweise kann das Meer unendlich viel andere Farben annehmen als Spektralfarben; man sieht aber leicht ein, dass es unmöglich sein wird, alle Farben in einer einzigen fortlaufenden Skala zusammenzustellen, und auch wenn wir uns auf die Spektralfarben beschränken, müssen wir uns von den Hauptzügen der Erscheinungen eine Vorstellung bilden können.

Sodann denken wir uns das ganze Spektrum an der horizontalen Abscissenachse abgesetzt, mit der reinem Wasser entsprechenden Wellenlänge im Anfangspunkt, und gleichzeitig die Sichttiefen an der vertikalen Ordinatenachse von unten nach oben abgetragen. Da das Meer, wie gesagt, jede beliebige Farbe annehmen kann, muss also jeder Wellenlänge λ eine gewisse Reihe von Sichttiefen, von Null bis an ein gewisses Maximum, entsprechen, und es ist einleuchtend, dass jedem λ eine, und zwar nur eine Maximalsichttiefe entspricht.

Hieraus folgt, dass die Kurve der Maximalsichttiefen in mathematischem Sinne kontinuierlich ist, d. h. wenn λ das ganze Spektrum durchläuft, so wird der Punkt, der die Maximalsichttiefe von λ bestimmt, eine zusammenhängende Kurve beschreiben; denn falls die Kurve an irgend einer Stelle einen Sprung aufwiese, würde dies ja bedeuten, dass das betreffende λ zwei Maximalsichttiefen hätte. Wenn λ ins Ultraviolett oder ins Ultrarot fällt, sind die Sichttiefen natürlicherweise Null, und wir können folglich schliessen, dass die Maximalsichttiefen asymptotisch gegen Null konvergieren, sowohl wenn λ sich dem ultravioletten Teil des Spektrums, als wenn es sich dem ultraroten Teil nähert. Also:

> Die durch die Maximalsichttiefen bestimmte Kurve hat ihr Maximum an der Ordinatenachse und hat die Abscissenachse als Asymptote sowohl am roten als am violetten Ende des Spektrums. Das zwischen der Kurve und der Abscissenachse liegende Areal stellt den vollständigen Zusammenhang zwischen den Spektralfarben und deren Sichttiefen dar, indem jeder Punkt in diesem Areal eine

bestimmte Farbe und eine bestimmte Sichttiefe (gewöhnlich keine Maximalsichttiefe) darstellt.

Wie man sieht, haben wir den Nachweis des asymptotischen Gefälles der Kurve gegen die Abscissenachse ohne Bezugnahme auf die Absorption des Wassers durchgeführt; man erhält deshalb auch das merkwürdige Resultat, dass die roten und die violetten Farben dasselbe Hauptgesetz befolgen, trotz der sehr verschiedenen Weise, in der die selektive Absorption des Wassers die roten und die violetten Strahlen beeinflusst. Der Unterschied tritt dagegen stark hervor in der schiefen Form der Kurve, indem ihr Maximum dem violetten Ende des Spektrums viel näher liegt als dem roten Ende. Das Maximum liegt, wie oben gezeigt, ungefähr bei der Wellenlänge 450 $\mu\mu$. Rund gerechnet kann man sagen, dass der sichtbare Teil des Spektrums von 400 bis 700 $\mu\mu$ geht, und man sieht also, dass der durchschnittliche Fall der Kurve gegen die Abscissenachse fünf Mal so stark ist gegen violett wie gegen rot.

Es entsteht nun die Frage, ob die Kurve von ihrem Maximum stetig gegen die Asymptote sinkt, oder ob sie unterwegs unregelmässige Biegungen aufweist. Durch den in *2* erwähnten Verdünnungsprozess wurde zwar dargetan, dass man sich von jeder Farbe aus kontinuierlich der Farbe des reinen Wassers bei stetig zunehmenden Maximalsichttiefen nähern kann. Es ist aber keineswegs sicher, dass man von einer Spektralfarbe aus durch Verdünnung des Seewassers immer zu neuen Spektralfarben gelangt, und diese Methode lässt sich somit nicht auf die vorliegende Frage anwenden.

Tatsächlich muss nun die Kurve auch Biegungen aufweisen. Denn aus der oben gegebenen Definition einer Spektralfarbe ist es einleuchtend, dass ein scharfes und einigermassen breites Absorptionsband im Spektrum des reinen Wassers eine abwärts gehende Biegung der Sichttiefenkurve erzeugen muss. Ist das Band hinlänglich scharf, so müsste die Biegung gar die X-Achse tangieren.

Und nun finden sich eben Absorptionsbänder im Spektrum des reinen Wassers in Orange und Rot, die sog. Schönn'schen Streifen, die allerdings nicht schwarz, aber doch recht kräftig sind. Diese Streifen müssen also Obigem zufolge Biegungen der Kurve hervorrufen. Etwas ganz ähnliches müsste natürlicherweise der Fall sein, wenn im Sonnenspektrum dunkle Bänder von merkbarer Ausdehnung vorhanden wären, aber die Fraunhoferschen Linien sind so fein, dass wir in diesem Zusammenhang davon absehen können.

Wenn nun auch die Form der Kurve nicht ganz gleichmässig sein kann, darf man doch in grossen Zügen sagen, dass die von λ am meisten abweichende Farbe, wenn zwei Spektralfarben auf derselben Seite der Farbe des reinen Wassers λ_0 liegen, die kleinste Maximal-

sichttiefe besitzen wird. — Wählt man aber zwei beliebige Punkte in obengenanntem Areal, z. B. rechts von λ_0, so kann immer die Möglichkeit eintreten, dass der Punkt am weitesten nach links der X-Achse näher liegt als der Punkt am weitesten nach rechts, d. h. man kann sehr wohl an einer Station eine kleinere Sichttiefe antreffen als an einer anderen Station, wenn auch die Farbe an ersterem Orte der des reinen Wassers näher liegt und demzufolge eine grössere Maximalsichttiefe hat als an letzterem Orte.

4. Wie sich nun die Verhältnisse in jedem einzelnen Meeresgebiete mit den dort vorkommenden Farben und tatsächlichen Sichttiefen stellen, hängt von den örtlichen Umständen ab und lässt sich nur durch Beobachtungen feststellen. Die Maximalsichttiefen selbst sind nämlich ohne Zweifel so gross, dass man sie sicherlich nur selten vorfinden wird. Dies geht ja u. a. hervor aus der im Vorhergehenden angestellten Abschätzung der Sichttiefe in reinem Wasser, verglichen mit den tatsächlich beobachteten Sichttiefen in Meeresgebieten mit blauem Wasser.

Die tatsächlich vorkommenden Sichttiefen werden sich daher gewöhnlich am dichtesten um grössere oder kleinere Bruchteile der Maximalsichttiefen gruppieren, und die Grösse dieser Bruchteile hängt, wie gesagt, von den örtlichen Verhältnissen ab. Gruppieren sich die Beobachtungen um gleich grosse Bruchteile der Maximalsichttiefen der vorkommenden Farben, so wird das Wasser also durchgehends um so klarer sein, je näher an λ_0 die Farbe liegt; gruppieren sich die Beobachtungen in anderer Weise, so kann man dagegen einen anderen Zusammenhang erhalten, und es kann dann vorkommen, dass das klarste Wasser des Meeresgebietes sich eben am meisten von der genannten blauen Farbe entfernt. Wir haben nun tatsächlich in der Natur Beispiele von beiden Fällen. In den Weltmeeren, wo die Farbe zwischen blau und grün schwankt, ist — wie es Krümmel in seinem Handbuch zeigt — das Wasser im grossen Ganzen um so klarer, je mehr blau es ist, wenn auch grosse örtliche Abweichungen vorkommen mögen. Im Folgenden wird aber dargetan werden, dass das Entgegengesetzte in der Ostsee eintritt. Hier schwankt die Farbe in den offenen Gebieten zwischen grün und gelbgrün oder graugrün, während in den Küstengebieten vielfältige braune, bräunliche, graue, grauliche Farbentöne u. a. m. vorkommen. Und wir werden nun gleich aus den Beobachtungen sehen, dass

> nicht das rein grüne Wasser der eigentlichen Ostsee, sondern das gelblich-grüne und graulich-grüne Wasser des Bottnischen Meerbusens das klarste ist.

Als wesentliche Ursache der Änderungen sowohl der Farbe als der Klarheit des Wassers ist, wie bereits aus dem Vorhergehenden erhellt, der Seegang zu nennen. Dies ist zunächst einleuchtend an solchen Orten, wo die Tiefe so gering ist, dass starke Wellenbewegung Stoffe vom Boden in die höheren Schichten hinaufwirbeln kann. Aber der Seegang muss auch an solchen Orten Bedeutung haben, wo die Tiefe so gross ist und die Verteilung der Wasserschichten eine solche, dass es nicht denkbar ist, dass Teilchen vom Meeresboden in die Oberflächenschichten sollten hinaufgeführt werden können. An Orten, wo dies geschieht, muss notwendigerweise eine so starke Vermischung der verschiedenen Wasserschichten stattfinden, dass die Temperatur von der Oberfläche bis auf den Boden so gut wie konstant wird. Nun ist es aber wohl bekannt, dass z. B. im Sommer im grössten Teil unseres Gebietes ein intermediäres Temperaturminimum vorkommt. Hier wird daher auch der heftigste Seegang nur die oberen Wasserschichten vermischen und nicht bis in die Bodenschichten hinabdringen können; wenn nun der Seegang auch in diesen Gebieten dennoch auf Farbe und Klarheit des Wassers einwirkt, so muss ohne Zweifel Folgendes als die Ursache zu betrachten sein.

In hoher See wird die durch den Seegang vermischte Oberschicht überall in senkrechter Richtung gleich reich an Teilchen sein, indem diese gleichmässig durch die ganze Dicke der Oberschicht verteilt werden. Nimmt der Wind nun ab, so wird die See allmählich ruhig, und in den offenen Teilen unseres Gebiets werden dann gewöhnlich auch die Oberflächenströmungen abgeschwächt; folglich werden anfänglich mehr aufgeschlämmte Teilchen abwärts sinken, als der Oberschicht in derselben Zeit vom Lande her zugeführt werden, d. h. es findet eine Abklärung der obersten Schichten statt, indem diese arm an Teilchen werden im Vergleich mit den intermediären Schichten, und die Sichttiefe nimmt zu. Tritt nun wieder eine Veränderung des Wetters ein, so dass die See wieder unruhig wird, dann werden aufs neue Teilchen aus den verhältnismässig unklaren mittleren Schichten in die bislang verhältnismässig klaren Oberschichten hinaufgewirbelt. Deren Klarheit und somit die Sichttiefen nehmen also aufs neue ab, und wir sehen, dass an Orten, wo der Boden tief liegt, die mittleren Schichten eine ähnliche Quelle zur Verunreinigung der Oberschichten bilden können, wie an seichteren Orten der Meeresboden, und hier haben wir die Bedeutung des Seeganges für Farbe und Klarheit des Wassers in Gebieten mit grossen Bodentiefen.

Will man sich einen Begriff bilden von der relativen Klarheit des Wassers in den verschiedenen Teilen des Ostseegebietes, so ist es am natürlichsten, solche Fälle zu wählen, wo der möglichst grösste Niederschlag von Partikeln stattgefunden hat, d. h. man wählt Beob-

achtungen bei ruhiger See. Hat dieser ruhige Zustand eine Zeit lang gedauert, so kann man annehmen, dass der Gehalt des Wassers an Teilchen einigermassen konstant ist, indem das Meer ebenso viel aufgeschlämmte Teilchen vom Lande her aufnimmt, wie es wiederum verliert, indem in derselben Zeit andere Teilchen sinken und sich am Boden ablagern. Mit anderen Worten: durch eine Betrachtung der grössten erreichten Sichttiefen erhält man eine Vorstellung von der natürlichen (bleibenden) Klarheit des Wassers in den verschiedenen Gebieten. Es zeigt sich nun, dass

1) Sichttiefen von über 15 m nur im Bottnischen Meerbusen vorgefunden worden sind, und zwar immer in gelblich-grünem oder graulich-grünem Wasser; Maximum: 17,4 m in gelblich-grünem Wasser (F 29, 11. Aug. 06).
2) Dann kommt die eigentliche Ostsee mit Sichttiefen von über 13 m, und zwar immer in grünem Wasser; Maximum: 14,7 m (im Gotlandstief, 7. Mai 06).
3) Schliesslich kommen die Beltsee und der Finnische Meerbusen, beide mit Sichttiefen von über 11 m. In der Beltsee ist das Maximum 12,5 m in grünem Wasser (D Ostsee 1, 1. Aug. 05); im Finnischen Meerbusen ist das Maximum 11,6 m in gelblich-graulich-grünem Wasser (F 54, 4. Aug. 06).

Das klarste Wasser ist also das gelblich-grüne und graulich-grüne Wasser des Bottnischen Meerbusens, nicht das grüne Wasser der Ostsee. Dies erklärt sich aus der oben ausführlich dargestellten Theorie des Zusammenhangs zwischen Farbe und Klarheit des Wassers.

Es ist infolge der Theorie auch leicht verständlich, dass eigentümliche Färbungen nebst recht bedeutenden Klarheiten vorkommen können; so erklären sich u. a. die recht grossen Sichttiefen, die in bräunlichem Wasser gefunden sind. — Als Beispiele können angeführt werden:

10,7 m in braungrauem Wasser, F 1 A, 6. Aug. 06
9,3 - - gelbgrauem — , F 3, 31. Mai 05

Kommen indessen farbige Teilchen in grossen Mengen vor, so kann doch natürlicherweise sehr unklares Wasser entstehen. So ist angetroffen worden:

2,0 m in braunem Wasser, F 39, 18. Mai 05
3,2 - - gelbbraunem Wasser, F 36, 24. Aug. 05
3,5 - - grünlich-braunem Wasser, F 40, 18. Mai 05

und es liessen sich noch andere Beispiele davon anführen.

Es zeigt sich, dass die grössten Sichttiefen nicht immer mit den absolut grössten Tiefen verbunden sind; so ist ja die oben angeführte

Station F 29 keineswegs die tiefste Station im Bottenhaf. Dies ist u. a. eine natürliche Folge davon, dass die Beobachtungen bei ruhiger See ausgeführt worden sind, und unter solchen Verhältnissen spielt es eine geringere Rolle, ob die Tiefe etwas grösser oder etwas geringer ist. Anders stellt sich die Sache für die kleinsten Sichttiefen. Die angeführten Beispiele von kleinen Sichttiefen in bräunlichem Wasser liegen den Küsten nahe in geringen Tiefen (28—11—38 m), und suchen wir die kleinsten Sichttiefen an Stationen in offener See auf, so liegen auch sie in verhältnismässig seichtem Wasser. So ist z. B. angetroffen worden eine Sichttiefe von

4,4 m	in	graugrünem	Wasser,	F 31,	Tiefe 50 m	(10. Mai 06)
5,1 -	-	—	— ,	F 44,	— 67 -	(18. — 05)
5,0 -	-	gelblichgrünem	— ,	D 13,	— 51 -	(29. April 07)
4 -	-	milchiggrünem	— ,	D 5,	— 26 -	(1. Feb. 05)
3 -	-	—	— ,	D 4,	— 22 -	(1. — 05)
4 -	-	?	— ,	D 1,	— 20 -	(16. — 03)

Die kleinsten Sichttiefen finden sich also auf geringeren Tiefen, eine natürliche Folge davon, dass der Seegang an solchen Orten meist rege und ungleichmässig ist. Übrigens sieht man aus der Tabelle, dass kleine Sichttiefen unter ca. 5 m im ganzen Gebiete an den seichteren Orten vorkommen.

Teils hieraus, und teils aus der Tatsache, dass die dem Meer von den Landgewässern zugeführten Trübungen um so mehr zum Niederschlag gekommen sind, je mehr man sich von der Küste entfernt, resultiert eine Erscheinung, auf die auch Krümmel im „Jahresbericht“ [1]) aufmerksam macht: dass man oft zunehmende Sichttiefen bei zunehmender Entfernung vom Lande vorfindet. Dies geht in schöner Weise aus folgenden Schnitten über das nördliche Bottenhaf, den Bottenvik und den Finnischen Meerbusen hervor:

	29. Mai 05	12. Mai 06	8. Juni 07
F 20	...	...	4,8
- 21	9,1	ca. 7,5	6,8
- 22	10,5	> 8,6	9,1
- 23	10,9	> 9,5	14,1
- 24	9,2	9,2	8,7
- 25	...	ca. 8,5	7,9

	14. Mai 06	26. Juli 07
F 5	...	7,0
- 6	7,5	7,5
- 7	15,9	8,1
- 8	14,0	10,2
- 9	13,3	11,1
- 10	13,3	9,3

	18—19. Mai 05
F 43	3,7
- 44	5,1
- 45	6,7
- 46	5,9
- 47	5,2
- 48	4,5

	4. Aug. 06
F 52 A	9,7
- 53	> 10
- 54	11,6
- 55	10,6

[1]) a. a. O.

Es ist in diesen Beobachtungsreihen eine ausgeprägte Regelmässigkeit vorhanden, und einfache Verhältnisse scheinen oft im finnländischen Gebiete zu herrschen. Das nämliche kann auch in der südlichen Ostsee der Fall sein; so tritt das Gesetz in folgenden Reihen aus dem deutschen Schnitt Rügen-Schonen deutlich hervor:

	11. Mai 04	3. Mai 06
D 6	10,0	10
- 7	13,0	11
- 8	11,5	13
- 9	10,5	11,5

Es kommen aber auch bedeutende Abweichungen vor; so am 2. Nov. 04 folgende Reihe:

D 6 11,5 m D 7 9,5 m D 8 10,0 m

Andere eigentümliche Abweichungen bietet die deutsche Ostseeexpedition Juli—August 07 dar. So war die Sichttiefe am 23. Juli in ca. 14 Seemeilen Entfernung von der schwedischen Küste, 55° 54′ N—16° 03′ E, nur 9 m, ca. 4 Seemeilen vom Lande, 56° 01′ N—15° 52′ E, aber 11 m. So hatte man auch am 11. Aug. in 2 Seemeilen Entfernung von der Westküste von Gotland, 57° 40′ N—18° 15′ E, eine Sichttiefe von 10 m, 13 Seemeilen vom Lande, 57° 46′ N—17° 58′ E, aber nur 8 m; darauf stieg die Sichttiefe wieder bis auf 10 m auf 57° 52′ N—17° 43′ E, und sank wieder bis 9 m auf 57° 59′ N—17° 24′ E.

Im Vorhergehenden ist das Verhältnis der grössten und kleinsten Sichttiefen dargestellt worden, die überhaupt im gesamten Gebiet der Ostsee vorgefunden worden sind. Die Bildung von mittleren Zahlen der Sichttiefen hat nur geringeres Interesse, namentlich weil im finnländischen Gebiet nur wenig Beobachtungen aus dem November vorkommen und — der Eisverhältnisse wegen — gar keine aus dem Februar. Ausserdem schwanken auch die vorgefundenen Sichttiefen sogar an derselben Station bedeutend von Zeit zu Zeit. Als Beispiele mögen angeführt werden:

	1. Juni 05	8. Aug. 05	16. Aug. 06	3. Nov. 06	11. Juni 07	25. Juli 07
F 2:	3,9	ca. 9	8,5	5,9	11,9	7,1

	28. Mai 05	14. Aug. 05	8. Nov. 05	10. Mai 06	11. Aug. 06
F 29:	9,9	> 11	9,7	8,9	17,4

	11. Aug. 04	1. Feb. 05	2. Mai 05	2. Aug. 05	2. Mai 06	2. Aug. 06	5. Feb. 07
D 4:	10,0	3	8,5	10,5	7,5	9,0	7,5

Natürlich spielt (wie gesagt) bei diesen Schwankungen der Seegang eine grosse Rolle; so hat Krümmel darauf aufmerksam gemacht, dass die ungemein geringe Sichttiefe von 3 m D Ostsee 4 und die

gleichzeitige geringe Sichttiefe von 4 m D Ostsee 5 am 1. Februar 1905 in eine Periode von heftigen westlichen Stürmen fällt; andererseits ist die grosse Sichttiefe von 17,4 m F 29 11. Aug. 06 bei vollkommen ruhiger See vorgefunden worden. Dass der Seegang indessen bei weitem nicht allein massgebend ist, werden wir an einem einzelnen typischen Beispiel dartun, nämlich den Beobachtungen auf Station F 2, August und November 1906.

Den Wetterkarten nach war die Witterung ziemlich einheitlich in der Zeit vor dem 16. August und vor dem 3. November 1906. Betrachten wir nun die finnländischen Windbeobachtungen in der Zeit unmittelbar vor der Ankunft an Station F 2, so bieten die Verhältnisse folgendes Bild dar:

15. Aug.	11^h 55 p. m.	S 40 W	4,8 m/sec	F 6	3. Nov.	1^h 25 a. m.	S 15 W	6,5 m/sec	F 7
16. —	5^h 15 a. m.	- 20 -	8,1 —	- 3	3. —	3^h 10 —	- 15 -	5,5 —	- 6
16. —	7^h 45 —	- 25 -	7,3 —	- 2	3. —	11^h 20 —	- 45 -	6,5 —	- 1
	mittlere Windstärke $6^3/_4$ m/sec				3. —	1^h 55 p. m.	- 20 -	6,1 —	- 2
						mittlere Windstärke $6^1/_8$ m/sec			

Das Wetter ist also ein wenig windiger im August als im November, und die Windrichtungen bieten keine besonderen Unterschiede dar, namentlich wenn man sich erinnert, dass F 2 ziemlich frei in offener See liegt. Man muss daher annehmen, dass der Seegang eher ein wenig stärker war in der Zeit vor dem 16. Aug. als in der Zeit vor dem 3. Nov.; nichtsdestoweniger fand man im August eine Sichttiefe von 8,5 m, im November nur eine Sichttiefe von 5,9 m. Also wenn der Seegang auch an demselben Orte zu verschiedenen Zeiten ungefähr derselbe ist in längeren Zeitabschnitten, können die Sichttiefen dennoch sehr verschieden sein; dies beruht natürlich darauf, dass die Sichttiefe nicht nur von den Stoffen abhängt, die der Seegang vom Boden oder aus den intermediären Schichten in die Oberflächenschichten hinaufwirbelt, sondern auch von der Zufuhr von aufgeschlämmten Teilchen, die das Meer mit dem Flusswasser vom Lande empfängt.

Es wäre ausserdem denkbar, dass auch ein anderer Faktor hier von Bedeutung sein könnte, nämlich eine Veränderung in der Zähigkeit des Wassers; denn es ist ja einleuchtend, dass das Wasser unter sonst gleichen Umständen durchschnittlich um so klarer sein muss, je schneller die dem Wasser hinzugeführten Trübungen abwärts sinken und dadurch wieder aus dem Wasser ausgeschieden werden. — Die Geschwindigkeit, mit der ein aufgeschlämmtes Teilchen sinkt, ist nun zwar bis zu einem gewissen Grade von seinem spezifischen Gewicht und von der Dichte des Seewassers abhängig, hängt aber wesentlich von der inneren Reibung des Meereswassers ab; und unter sonst gleichen Umständen muss deshalb die mittlere Sichttiefe um so

grösser sein, je kleiner die innere Reibung wird. Aus O. Krümmel und E. Ruppin's[1]) Tabellen geht aber hervor, dass diese Grösse mit wachsender Temperatur sehr stark abnimmt, so dass sie auf F 2 im August 06 (bei einer Oberflächentemperatur von 13°3) um etwa 30 % kleiner was als im November 06 (bei einer Oberflächentemperatur von 4°9). Da nun ferner die Sichttiefe gerade im August grösser war als im November, so ist es möglich, dass dies Verhältnis in dem hier vorliegenden Falle eine Rolle hat spielen können. Im allgemeinen können aber die Variationen in der Zähigkeit des Wassers im Ostseegebiete nur von sekundärer Bedeutung sein; denn sonst würde es ja sehr natürlich sein anzunehmen, dass die Sichttiefen eine mit der jährlichen Temperaturschwankung übereinstimmende jährliche Periodizität aufwiesen; aber dies ist (wie alsbald unten nachgewiesen wird) gar nicht der Fall.

Zu näherer Beleuchtung des oben Entwickelten führen wir noch Folgendes an: Wie früher in dieser Arbeit dargetan, kommen die grössten Sichttiefen des ganzen Ostseegebietes, > 15 m, im Bottnischen Meerbusen vor. Wir geben nun folgende Tabelle über diese Sichttiefen und die gleichzeitigen Temperaturen (die Salzgehaltschwankungen sind hier von keiner Bedeutung):

			Temperatur	
		Sichttiefe:	in 0 m:	in 20 m:
31. Mai 05,	F 9:	16,4 m	1°51	1°51
14. Mai 06,	F 7:	15,9 -	0°65	0°46
11. Aug. 06,	F 29:	17,4 -	14°89	13°12
11. Aug. 06,	F 30:	15,1 -	14°13	13°81
10. Juni 07,	F 7:	15,8 -	1°02	0°95.

Man sieht also das interessante Resultat, dass die grossen Sichttiefen ebensowohl in sommerwarmem wie in eiskaltem Wasser vorkommen, obgleich die innere Reibung mit den Temperaturen bedeutend schwankt. — Ebenso können wir für die eigentliche Ostsee anführen, dass die grösste dort erreichte Sichttiefe, 14,7 m, in kaltem Wasser gefunden ist; die Temperatur im Gotlandtief betrug am 7. Mai 06 nur $5^1/_2°$ in 0 m und $3^1/_2°$ in 20 m.

Krümmel hat[2]) eine jährliche Periodizität für die Durchsichtigkeit des Nordseewassers nachgewiesen. Etwas ähnliches scheint aber nicht für das Ostseegebiet zu gelten; hier sind die Sichttiefen kaum von der Jahreszeit abhängig, und die Ursache hiervon lässt sich leicht einsehen: das Wetter ist durchgehends am windigsten und der Seegang somit am heftigsten in der kalten Jahreszeit; in dieser hat

[1]) Über die innere Reibung des Seewassers. Wiss. Meeresunters. der Kieler Komm. 1905, Bd. 9. — Siehe auch „Handbuch" S. 282.

[2]) Jahresbericht, a. a. O.

das Wasser also die grösste Zufuhr von Teilchen aus dem Meeresboden. Andererseits haben die Flüsse die grösste Wassermenge in der warmen Jahreszeit, und in dieser empfängt also das Meer die grösste Zufuhr von Stoffen vom Festlande. Zwei sehr wesentliche Ursachen zur Verunreinigung des Meeres wechseln also in entgegengesetzter Weise mit der Jahreszeit, und es ist infolgedessen nicht wahrscheinlich, dass die Durchsichtigkeit des Wassers eine Periodizität aufweisen wird.

Von Krümmels mittleren Zahlen für drei so verhältnismässig naheliegende Gebiete wie die Beltsee, das Arkonabecken und die südliche Ostsee haben die Mittelzahlen des einen Gebiets ihr Maximum im August, die des anderen im Mai und die des dritten im November, während die Minima bezw. in den Februar, den November und den August fallen. Wir führen einige Beispiele aus anderen Teilen der Ostsee an: F 2 hatte sowohl Minimum (3,9 m) als Maximum (11,9 m) in derselben Jahreszeit, nämlich im Juni; F 1 hatte Minimum (4,5 m) und Maximum (10,7 m) im Juli-August, während im Juni und November dieselbe Sichttiefe (5,0 m) vorgefunden wurde. F 13 hatte sein Minimum (< 7 m) im November, sein Maximum (12,5 m) im Mai; F 26 sein Minimum (8,1 m) im Mai, sein Maximum (14,1 m) im August; F 23 hatte sein Maximum (14,1 m) im Juni, sein Minimum (8,8 m) im Juli u. s. w. —

Es ist a priori wahrscheinlich, dass das Plankton auf Farbe und Durchsichtigkeit des Ostseewassers Einfluss ausüben muss, und es liegt nahe, eine Verbindung zwischen dem Planktonvolumen und den optischen Verhältnissen des Wassers zu suchen. Zu diesem Zweck muss man gleich tiefe Züge zusammenstellen, und im Folgenden habe ich den Zug von 20 bis 0 m gewählt. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen erhellt Folgendes:

		Volumen des Planktons ccm.	Farbe des Wassers	
F 1	8. Aug. 05	0,5	gelbbraun	Also dieselbe Farbe, obgleich das Volumen recht bedeutend schwankt.
- 1	1. Nov. 05	1	braungelb	
- 1	3. — 06	3	braungelb	
- 15	10. Aug. 05	min.	grün	Also wieder dieselbe Farbe, obgleich das Volumen stark schwankt.
- 33	15. — 05	2,5	grün	
- 64	27. Mai 05	12	grün	
- 41A	23. Aug. 05	12	gelbgrau	Also sehr verschiedene Farben, obgleich das Volumen dasselbe ist.
- 64	27. Mai 05	12	grün	

		Volumen des Planktons ccm.	Sichttiefe m.	
F 24	14. Aug. 06	7,5	12,5	Also fast dieselbe Durchsichtigkeit, obgleich das Volumen bedeutend schwankt.
- 28	11. — 06	min.	12,1	
- 2	1. Juni 05	min.	3,9	Also geringe Durchsichtigkeit in Verbindung mit geringer Planktonmenge, und grosse Durchsichtigkeit in Verbindung mit einer grossen Planktonmenge.
- 64	27. Mai 05	12	9,7	
- 16	13. Mai 06	1	10,3	Also eine sehr verschiedene Durchsichtigkeit, obgleich das Volumen dasselbe ist.
- 31	10. — 06	1	4,4	

Aus dieser Zusammenstellung scheint also das Resultat hervorzugehen, dass keine Verbindung besteht zwischen dem nach den bisher gebräuchlichen Methoden gemessenen Planktonvolumen und den optischen Verhältnissen des Ostseewassers. — Ob aber die Ursache darin zu suchen ist, dass die Bedeutung des Planktons im Ostseegebiete verhältnismässig gering ist, oder ob das Resultat auf technischen Mängeln der Fangmethoden beruht (vgl. die Untersuchungen H. Lohmann's[1]), muss bis auf weiteres als fraglich dahingestellt werden.

Dass aber das Plankton jedenfalls auf einem anderen, mehr indirekten Wege von Bedeutung sein kann, ist höchst wahrscheinlich. Wie Krümmel[2]) hervorhebt, können Farbstoffe durch Zerfallen des toten Planktons im Wasser gelöst werden; und dass Chlorophyll aus dem vegetabilischen Plankton gerade für die grüne Farbe der Ostsee eine gewisse Rolle spielt, scheint sehr möglich zu sein. —

[1]) Wiss. Meeresunters. Kiel 1902. Bd. I.
[2]) Handbuch S. 278.

NB. Une **LISTE DES PUBLICATIONS** du Conseil permanent international pour l'exploration de la mer, savoir:

Série A: Rapports et Procès-Verbaux des réunions

— B: Bulletin (trimestriel) des résultats acquis pendant les croisières périodiques etc.

— C: Publications de circonstance

— D: Bulletin statistique

a paru en Janvier 1907. Elle est envoyée **franco**, sur demande adressée à MM. **Andr. Fred. Høst et fils,** libraires à Copenhague.

COPENHAGUE - IMPRIMERIE BIANCO LUNO